

II-271 波動場におかれた水平円柱に作用する波力と周辺流速場

東京大学工学部 学生員 増田進弘

東京大学工学部 正 員 渡辺 晃

東京大学工学部 正 員 堀川清司

1. 緒 論

これまで多くの研究者が、柱状構造物に作用する波力の算定式を提案してきた。これらの波力算定式の中ではモリソン公式が最もよく実用に供されている。しかしながら、モリソン公式によって実際の波力を常に正確に表現できるわけではない。そこで、本研究では柱状構造物部材として水平円柱を取り上げ、水平円柱に作用する実測波力と円柱周辺流速場の可視化から、モリソン公式の評価を行うことにした。

2. 実験装置及び実験条件

本実験では、水平円柱に作用する波力の測定と水平円柱周辺の流れの可視化を行った。波力測定実験では、2次元造波水路で規則波を発生させ、三分力計に取り付けた直径5.0cm、長さ20.0cmのアルミ製中空円柱に作用する水平方向・鉛直方向波力を水面波形と共に実測した。実験条件としては、表-1に示すように3通りの円柱設置位置に対して周期を5段階、波高を2段階、計30通りに変化させた。

また可視化実験では、波力測定実験と同じ実験装置を用い、ポリスチレン球をトレーサーとして写真撮影を行った。実験条件は、表-2に示すように5通りに変化させた。

表-1 波力測定実験条件

円柱の設置位置 S(cm)	-10		-13		-16	
周期 T (s)	1.9	1.7	1.4	1.2	1.0	
波高 H (cm)	9, 5	10, 7	11, 9	13, 8	10, 7	

表-2 可視化実験条件

円柱の設置位置 S(cm)	-13				
周期 T (s)	1.9	1.9	1.4	1.4	1.2
波高 H (cm)	9	5	11	9	13

ただし、水深は両実験ともに50cm。
円柱の設置位置は静水面を基準

3. 解析方法

モリソン公式では、波力を慣性力と抗力の和として表わしている。このうち抗力は、水平円柱周辺に発生する非対称な渦により生ずる圧力差に基づくもので、瞬間流速との間には位相差があると考えられる。しかしながら、後述するように実際には位相差は一定でなくかなり変動し定量化が困難である。たので、位相差を考慮しないでモリソン公式を適用することにした。全波力Fに対するモリソン公式を次式に示す。

$$F = \rho C_M \frac{\pi}{4} D^2 \ell \ddot{v} + \frac{1}{2} \rho C_D \ell D v |v|$$

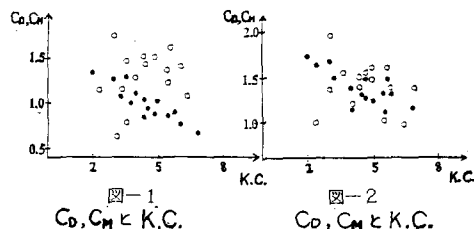
ここで、 ρ ：流体の密度、 D ：円柱直径、 ℓ ：円柱長、 v ：波動流速、 $\ddot{v}$ ：波動流加速度、 C_M ：質量係数、 C_D ：抗力係数 であり、波動流速 v は水面波形より流れ関数法で評価した。

流体力係数 C_M 、 C_D は、実測波力ベクトルと理論波力ベクトルの差の一周期内二乗和が最小となるようにする最小二乗法と、実測水平波力と理論水平波力の差の一周期内二乗和が最小となるようにする最小二乗法の2つの計算方法で求めた。これらの結果をクーリガン・カーバンター数で整理した。

4. 実験結果及び考察

(1) 流体力係数

図-1は、前述した解析方法により波力ベクトルから得られた流体力係数とクーリガン・カーバンター数との関係を示したもので、図-2は、水平波力から得られた流体力係数とクーリガン・カーバンター数の関係を示したものである。ただし、両図で○は C_D と、●は C_M を表わす。



(2) 理論波力と実測波力

図-3(a), (b)は、図-1で示した流体力係数を用いた理論波力と実測波力を一周期にわたって示した図で、図-4(a), (b)は、図-2で示した流体力係数を用いた理論波力と実測波力を示した図である。ただし、図-3~6を通して(a), (b)はそれぞれ同一条件である。図-3(a), (b)から深海波に近い条件では理論波力と実測波力の一致度はよいが、浅海波に近い条件では両者の一致度が悪くなることがわかった。次に、図-5(a), (b)は図-1に示した流体力係数を用いた理論波力ベクトルと実測波力ベクトルを示した図である。これら両図からも、前述した周期の変化と理論波力と実測波力の一致度の関係が確かめられた。またモリソン公式では、一定の流体力係数を用いた場合、水平方向波力を過小評価し鉛直方向波力を過大評価することがわかった。これに対し、図-2で示された流体力係数を用いた理論波力では、図-4(a), (b)に示すように実測波力の最大値を表現することができた。

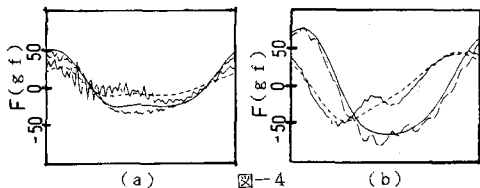
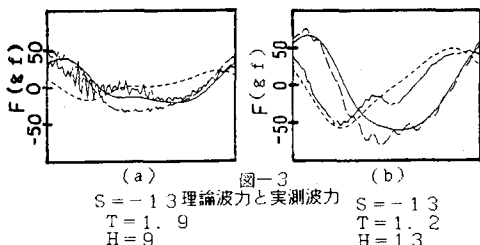


図-4 理論波力と実測波力
 --- 実測鉛直波力
 --- 理論鉛直波力
 --- 実測水平波力
 --- 理論水平波力

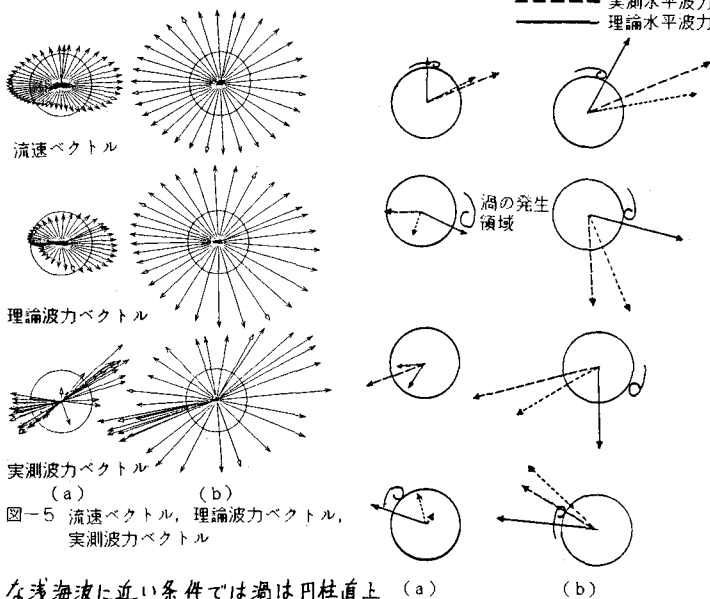


図-5 流速ベクトル、理論波力ベクトル、
 実測波力ベクトル

(3) 円柱周辺の渦の運動と波力

図-6(a), (b)は、可視化によって得られた渦の運動と図-1で示した流体力係数を用いた理論波力及び実測波力の関係を表わした図である。図-6(b)のような深海波に近い条件では渦が円柱周辺

を回転運動するのに対し、図-6(a)のような浅海波に近い条件では渦は円柱直上

部、直下部で見られず回転運動はしていないことが認められた。また、渦は必ずしも瞬間流速の下流方向に形成されず、渦と瞬間流速の間の位相差が一定でないことが認められた。これらの結果から非常量のBlasius公式を用いて波力の評価を行うことを試みたが、渦の大きさと移動速度を詳細に定量化しなかったために、波力を全周期にわたって評価するに至らなかった。しかしながら、波の条件により波力の特性が異なるのは、円柱周辺の渦の運動の差異によると考えられるので、渦の大きさと運動をより詳細に求めれば波力をより合理的に評価できると考えられる。

5. 結論
 (1) 水平円柱に作用する波力は、深海波に近い条件ではモリソン公式で評価できるが、浅海波に近い条件では、モリソン公式を適用すると水平方向波力は過小評価となり、鉛直方向波力は過大評価となる。

(2) 深海波に近い条件では、剝離渦は円柱の回りほぼ一定の角速度で回転するか、浅海波に近い条件では、円柱の左右部のみに剝離渦が形成される。円柱に作用する波力の特性は、これらの渦の形成機構の相異によりある程度説明できることがわかった。

参考文献 浅野敏之、山田哲夫、岩垣雄一(1984): 波と流れの共存場に設置された円柱に作用する揚力の特性 第31回海岸工学講演会論文集